

IMPLEMENTASI LABORATORIUM VIRTUAL DALAM PEMBELAJARAN PENDAHULUAN FISIKA KUANTUM UNTUK MENINGKATKAN KEMAHIRAN GENERIK

Sondang R. Manurung¹, Mara B. Harahap¹, Nuryani Y. Rustaman², dan B.S. Brotosiswoyo³

¹Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Medan

²Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Indonesia

³ Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Parahyangan
email:sondangrina@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil implementasi laboratorium virtual dalam pembelajaran Pendahuluan Fisika kuantum dalam meningkatkan kemahiran generik mahasiswa calon guru. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen semu dengan *pretest-posttest Control Group Design*. Desain ini menggunakan penetapan subjek setara antara kelompok eksperimen dan kontrol secara purposif. Modul pembelajaran ini terdiri atas dua jenis yakni modul yang mempergunakan program komputer yang menampilkan visualisasi gejala fisika kuantum dan modul pembelajaran konvensional. Penelitian ini dilaksanakan di LPTK di Kota Bandung Jawa Barat dengan subjek penelitian mahasiswa Semester VI Jurusan Pendidikan Fisika pada Mata Kuliah Fisika Kuantum Tahun Akademik 2014/2015. Sampel penelitian dalam kelompok eksperimen terdiri atas 15 orang mahasiswa. Kelompok kontrol terdiri atas 24 orang mahasiswa. Mahasiswa kelompok eksperimen menerima pembelajaran fisika kuantum dengan laboratorium virtual. Kelompok kontrol menerima pembelajaran konvensional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan laboratorium virtual dalam pembelajaran pendahuluan fisika kuantum dapat meningkatkan kemahiran generik mahasiswa.

Kata kunci: *fisika kuantum, laboratorium virtual, kemahiran generik*

IMPLEMENTATION OF QUANTUM PHYSICS INTRODUCTION AID ON VIRTUAL LABORATORIES TO IMPROVE PROFICIENCY GENERIC

Abstract

This study was aimed at determining the results of virtual laboratory implementation in the introduction of quantum physics in improving the generic proficiency of prospective teacher students. The research method used was quasi-experimental with pretest-posttest control group design. This design uses the determination of equivalent subjects between the experimental group and purposive control. This learning module consists of two types, namely computer program aided module that display the visualization of quantum physics symptoms and conventional learning modules. This study was carried out on a teacher training institution in Bandung, West Java. The research subjects were the sixth semester students of Physics Education in the Subject of Quantum Physics, year 2014/2015. The sample in the experimental group consisted of 15 students, while the control group consisted of 24 students. The experimental group students received the learning of quantum physics with a virtual laboratory, while the control group received conventional learning. The result shows that the use of virtual laboratories in the introduction of quantum physics is able to improve the generic skills of students.

Keywords: *quantum physics, virtual laboratories, generic proficiency*

PENDAHULUAN

Mata Kuliah Pendahuluan Fisika Kuantum merupakan mata kuliah pendahuluan bagi Mata Kuliah Fisika Kuantum dan juga merupakan prasyarat bagi mata kuliah lain yaitu fisika inti, fisika zat padat dan mata kuliah lain yang tergabung dalam KBK fisika material. Sesudah mengikuti mata kuliah ini, mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan pada kondisi saat suatu permasalahan fisika cukup dibahas secara klasik dan harus dibahas secara mekanika kuantum, mampu menjelaskan bahwa fisika klasik bersifat deterministik sedangkan mekanika kuantum bersifat statistik mampu menjelaskan persamaan dinamika dalam mekanika kuantum mengaplikasikannya baik dalam permasalahan 1 dimensi maupun untuk permasalahan 3 dimensi (Wuttiprom, Chitaree, Soankwan, & Johnston, 2008). Pada kegiatan perkuliahan dibahas ide-ide dasar mekanika kuantum, probabilitas gelombang materi, ruang fungsi gelombang partikel tunggal, persamaan dinamika mekanika kuantum (persamaan Schrodinger), aplikasi persamaan Schrodinger bebas waktu pada permasalahan sederhana 1 dimensi baik untuk *free particle* maupun *bound states*, aplikasi persamaan Schrodinger 3 dimensi pada atom hidrogen (gaya sentral), momentum sudut orbital, dan penjumlahan momentum sudut.

Hasil pengalaman selama mengajar Fisika Dasar II menunjukkan bahwa tahun pertama di LPTK pada umumnya kurang menguasai konsep gejala fisika kuantum yang terdapat dalam pokok bahasan pendahuluan fisika kuantum. Lemahnya penguasaan konsep gejala kuantum pada mahasiswa adalah pemahaman operator matematis yang sulit yaitu operator hermitian dan ekspansi fungsi eigen sehingga pemahaman konseptual tentang gejala ini sulit dan sangat abstrak.

Hal yang sama ditunjukkan dari hasil penelitian McKagan, Perkins, dan Weaman (2010) yang menyatakan bahwa kesulitan mahasiswa dalam mempelajari pendahuluan fisika kuantum adalah memahami hubungan amplitudo dengan panjang gelombang potensial, dan menggambar fungsi gelombang yang benar. Penelitian tersebut juga menemukan banyak kesulitan yang spesifik di kalangan siswa, seperti partikel yang bergerak di sepanjang jalur sinusoidal dan interpretasi fungsi gelombang yang salah.

Özcan (2016, p. 1) menyatakan mekanika kuantum adalah bidang yang sulit bagi siswa untuk dipelajari karena struktur matematika yang kompleks dan bersifat abstrak. Meski banyak siswa terbiasa dengan konsep fisika klasik dari kehidupan sehari-hari, namun sulit untuk mekanika kuantum. Konsep kesulitan tersebut berasal dari kenyataan bahwa subatomik partikel tidak dapat diamai secara fisik seperti yang dapat dilakukan dalam fisika klasik.

Hasil wawancara pada mahasiswa yang telah mengambil Mata Kuliah Fisika Kuantum menunjukkan bahwa mahasiswa merasa kesulitan untuk berlatih operasi matematis, soal-soal yang tidak dipahami, dan kehilangan makna dibalik simbol-simbol Mata Kuliah Pendahuluan Fisika Kuantum. Materi pendahuluan fisika kuantum bersifat abstrak, sulit, dan ditampilkan dalam rumus-rumus matematik yang rumit; bertentangan dengan intuisi; dan sulit untuk dijelaskan, membuat pendekatan pengajaran pengantar pendahuluan fisika kuantum lebih menggunakan manifestasi gejala yang dapat diamati. Konsep dasar yang sulit pada topik ini adalah ketidakpastian Heisenberg dan mekanika gelombang Schrödinger (deSouza & Iyengar, 2013).

Konsep pengantar pendahuluan fisika kuantum penting untuk dikuasai oleh mahasiswa sebagai calon guru yang akan mengajarkannya kepada siswa di sekolah

menengah. Penguasaan konsep pendahuluan fisika kuantum yang baik, memungkinkan mereka untuk menyampaikannya secara benar kepada siswa. Siswa tidak melihat benda-benda mikroskopis dalam kehidupan sehari-harinya, misalnya pada *Light Emitting Diode (LED)* yang terdapat pada komputer dan *remote-control*. Siswa sekolah menengah perlu menguasai prinsip, teori, dan gejala-gejala kuantum.

Pada abad modern ini, peralatan canggih banyak dikembangkan melalui teknologi nano. *Nano technology*, teknologi berbasis pengelolaan materi berukuran nano atau satu per miliar meter merupakan lompatan teknologi untuk mengubah dunia materi menjadi jauh lebih berharga daripada sebelumnya. Proses memanipulasi materi pada struktur pembangunnya pada orde ukuran satu per miliar meter (nanometer), sifat dan fungsi materi tersebut dapat diubah sesuai dengan yang diinginkan.

Hasil pengamatan yang dilakukan menunjukkan selama ini sebagian dosen mengajarkan materi pengantar pendahuluan fisika kuantum dengan metode ceramah, diskusi, dan penugasan. Jarang sekali menggunakan media dalam perkuliahan karena keterbatasan media untuk Mata Kuliah Pendahuluan Fisika Kuantum. Hal ini menyebabkan mahasiswa kesulitan dalam memahami konsep-konsep pendahuluan fisika kuantum yang bersifat abstrak dan submikroskopik.

Hasil studi pendahuluan menunjukkan bahwa hasil belajar pendahuluan fisika kuantum pada suatu LPTK dalam enam tahun terakhir masih tergolong rendah. Hal ini tergambar pada rata-rata DPNA Fisika Pendahuluan Kuantum Tahun Ajaran: 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012, 2012/ 2013 yang <70 (belum kompeten). Rendahnya hasil belajar pendahuluan fisika kuantum tersebut salah satunya disebabkan kecenderungan dosen lebih menekankan

pada aspek matematis dalam perkuliahan. Agar konsep-konsep pendahuluan fisika kuantum mudah dipahami oleh mahasiswa perlu ada inovasi dalam perkuliahan.

Pengembangan pembelajaran pendahuluan fisika kuantum yang dapat meningkatkan kemahiran generik dan meningkatkan kemahiran konseptual merupakan pembelajaran yang bermakna. Penelitian ini penting dilakukan. *Pertama*, untuk menghasilkan temuan dan dalil-dalil pembelajaran yang terkait dengan model pembelajaran untuk peningkatan kemahiran generik mahasiswa dalam Mata Kuliah Pendahuluan Fisika Kuantum. *Kedua*, bagi dosen pada umumnya, khususnya dosen pada Mata Kuliah Pendahuluan Fisika Kuantum, memberikan wawasan terhadap pentingnya pengembangan model pembelajaran untuk peningkatan kemahiran generik yang merupakan kemahiran menemukan alternatif, yang diharapkan dapat menjadi bekal calon guru IPA untuk mengembangkannya di lapangan kelak. *Ketiga*, bagi LPTK yang mengelola model pendidikan calon guru, hasil penelitian ini merupakan bentuk akuntabilitas LPTK terhadap masyarakat untuk menghasilkan guru yang profesional. *Keempat*, bagi para peneliti yang tertarik pada upaya pengembangan dan peningkatan mutu pendidikan *preservice*. *Kelima*, bagi mahasiswa, pembekalan kemahiran generik melalui pengembangan laboratorium virtual dalam pembelajaran pendahuluan fisika kuantum dapat meningkatkan kemahiran generik secara utuh dan bermakna.

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen semu dengan desain *pretest-posttest control group* (Fraenkel, Wallen, & Hyun, 2012, pp. 264-300). Salah satu ciri penelitian eksperimen adalah menggunakan kelompok kontrol dengan

kelompok yang dikenai eksperimen.

Kemahiran generik sains mahasiswa dinilai dari jawaban tes awal dan tes akhir mahasiswa setelah mengikuti pembelajaran. Untuk mengetahui peningkatan kemahiran generik sains mahasiswa calon guru dilakukan dengan menghitung besar skor *gain* yang dinormalisasi (*N-gain*). Hal ini dimaksudkan untuk menghindari kesalahan dalam menginterpretasikan perolehan *gain* masing-masing mahasiswa.

Metode eksperimen bertujuan untuk membuktikan efektivitas laboratorium virtual dalam model pembelajaran pendahuluan fisika kuantum yang dikembangkan. Efektivitas laboratorium virtual dalam pembelajaran materi pendahuluan fisika kuantum dapat dilihat dari peningkatan kemahiran generik (X).

Penelitian dilaksanakan pada salah satu LPTK di Kota Bandung Jawa Barat. Subjek penelitian adalah mahasiswa Semester VI Jurusan Pendidikan Fisika pada Mata Kuliah Pendahuluan Fisika Kuantum. Sampel penelitian dalam kelompok eksperimen terdiri atas 15 orang mahasiswa. Kelompok kontrol terdiri atas 24 orang mahasiswa. Pada penelitian ini, kelompok eksperimen menerima pembelajaran pendahuluan fisika kuantum dengan pendekatan yang bervariasi. Kelompok kontrol menerima pembelajaran biasa.

Variabel penelitian dikelompokkan menjadi dua yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas penelitian ini adalah model pembelajaran pendahuluan fisika kuantum berbasis *virtual laboratory*. Variabel terikat adalah kemahiran generik sains mahasiswa.

Jenis instrumen adalah tes kemahiran generik sains. Sebelum instrumen tes digunakan, terlebih dahulu dilakukan analisis tingkat kemudahan, daya beda, validitas, dan reliabilitas tes.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kemahiran generik sains mahasiswa mengalami peningkatan sesudah menerima pembelajaran pendahuluan fisika kuantum berbasis *virtual laboratory*. Brotosiswoyo (2001, pp. 35-37) menjelaskan bahwa terdapat kemahiran generik yang dapat dikembangkan melalui pembelajaran fisika. Pada penelitian ini, kemahiran generik sains yang dikembangkan adalah pengamatan tidak langsung, kesadaran akan skala besaran, inferensi logika, hukum sebab akibat, pemodelan matematik, dan kemahiran membangun konsep.

Pemilihan indikator ini didasarkan pada pertimbangan karakteristik materi pendahuluan fisika kuantum, khususnya pada konsep teori kuantum radiasi elektromagnetik dan materi. Berdasarkan data yang diperoleh dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan kemahiran generik sains mahasiswa calon guru baik yang belajar secara konvensional maupun yang belajar dengan *virtual laboratory*.

Berdasarkan rata-rata *N-gain* dapat diketahui bahwa peningkatan kemahiran generik sains mahasiswa kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Peningkatan kemahiran generik sains pada setiap indikator juga berbeda secara signifikan. Kemahiran generik sains kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Berdasarkan analisis uji-*t* pada setiap indikator dapat diketahui bahwa peningkatan kemahiran generik sains kedua kelas untuk setiap indikator berbeda secara signifikan.

Peningkatan kemahiran generik tertinggi kelas eksperimen maupun kelas kontrol terjadi pada indikator pengamatan tidak langsung dengan peningkatan masing-masing 68,2% (kelas eksperimen) dan 38,3% (kelas kontrol). Keduanya berada pada kategori sedang. Peningkatan terendah kemahiran membangun konsep sebesar

35,5% (kelas eksperimen) dan hubungan sebab akibat sebesar 27,4% (kelas kontrol) seperti yang ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1
Skor Gain Kemahiran Generik pada Kelompok Eksperimen dan Kontrol

Indikator Kemahiran Generik	Skor Gain Kelompok	
	Eksperimen	Kontrol
IKG-1	0,377	0,329
IKG-2	0,633	0,351
IKG-3	0,584	0,282
IKG-4	0,559	0,274
IKG-5	0,355	0,319
IKG-6	0,483	0,364
IKG-7	0,613	0,333
IKG-8	0,682	0,383

Keterangan:

- IKG-1 = Inferensi Logik
- IKG-2 = Kesadaran Taat Azas
- IKG-3 = Pemodelan Matematis
- IKG-4 = Hubungan Sebab Akibat
- IKG-5 = Membangun Konsep
- IKG-6 = Bahasa Simbolik
- IKG-7 = Kesadaran akan Skala
- IKG-8 = Pengamatan tidak langsung.

Peningkatan tertinggi yang terjadi pada pengamatan tidak langsung menunjukkan bahwa laboratorium virtual yang diterapkan terbukti mampu mendorong mahasiswa untuk belajar menemukan dan menyimpulkan sendiri konsep-konsep penting yang dipelajari. Peningkatan tersebut dapat dipahami karena mahasiswa kelas eksperimen terbiasa dalam penggunaan logika dalam menyelesaikan permasalahan yang dihadapi ketika melakukan eksperimen maupun ketika bekerja mengisi lembar kerja mahasiswa.

Kesadaran akan skala dan taat azas meningkat pada kelompok eksperimen karena

melakukan percobaan yang menunjukkan aturan-aturan fisika dalam percobaan virtual. Misalnya, ketika melakukan eksperimen efek fotolistrik, mahasiswa berkesempatan melakukan eksplorasi fitur dan menu-menu yang disediakan dalam *software*. Hasilnya mahasiswa dapat menyimpulkan bahwa tidak semua jenis bahan yang disinari akan memancarkan elektron.

Pada kelas kontrol yang belajar secara konvensional hanya disuguhkan sejumlah informasi, berdiskusi, dan tutorial. Mereka tidak berkesempatan melakukan eksplorasi yang mendorong rasa keingintahuan dan penalarannya. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya peranan kegiatan eksperimen dalam mendukung pembelajaran fisika, khususnya pendahuluan fisika kuantum.

Pembelajaran fisika kuantum menggunakan beberapa metode, seperti yang dianjurkan oleh Ozdemir dan Erol (2010) yang mengembangkan *model hybrid* tentang percobaan dua celah ganda yang terdiri dari tutorial, diskusi kelompok dan kelas, serta kegiatan pekerjaan rumah. Akarsu, Co kun, dan Kariper (2011) menyatakan bahwa mahasiswa kesulitan memahami konsep fisika kuantum dan melihat konsep tersebut lebih sulit dipelajari dibandingkan dengan konsep fisika lainnya. Hasil analisis data menunjukkan bahwa model pembelajaran pendahuluan fisika kuantum berbantuan laboratorium virtual lebih efektif meningkatkan kemahiran generik sains mahasiswa calon guru fisika dibandingkan dengan perkuliahan konvensional.

Pada kelas eksperimen dengan menggunakan model laboratorium virtual dalam pembelajaran pendahuluan fisika kuantum, dengan prinsip mahasiswa belajar *by doing* dengan berpusat pada mahasiswa melalui diskusi yang aktif

dan efisien. Pada pembelajaran ini ada pengamatan maya yang dilakukan dalam kelas. Pada tahap eksplorasi ada kegiatan aktif mahasiswa yang mengarahkan mereka berpikir dan menjelaskan temuan yang diperoleh. Ada aplikasi konsep setelah pembelajaran teori dilakukan dengan kegiatan percobaan visualisasi komputer interaktif dengan kegiatan *hands-on activity*. Mahasiswa menggunakan lembar kerja, melakukan pengamatan, dan menjawab permasalahan. Siklus belajar memiliki prinsip dimulai dengan urutan materi yang mudah karena fase eksplorasi menuntut mahasiswa bekerja secara aktif baik melalui diskusi atau penemuan. Dimulai dengan mempelajari teknik-teknik pemecahan masalah sederhana yang memungkinkan mahasiswa dapat memecahkannya.

Salah satu inovasi dalam perkuliahan dengan menerapkan laboratorium virtual. Penelitian Tambade dan Wagh (2011) menunjukkan bahwa mahasiswa tampaknya telah memperoleh pemahaman umum yang baik tentang konsep-konsep fisika dengan menggunakan simulasi dan animasi komputer. Hal ini terjadi terutama di bidang representasi verbal, vektor, dan diagram dari konsep fisika. Penelitian McKagan *et al.* (2008) menunjukkan bahwa penggunaan simulasi komputer pada materi mekanika kuantum dapat meningkatkan hasil belajar dan aktivitas mahasiswa di kelas. Penggunaan simulasi komputer membantu mahasiswa mengatasi kesulitan belajar pada materi ini.

Aina (2013) mengatakan bahwa fisika dianggap sebagai subjek abstrak oleh banyak orang. Pospiech dan Schöne (2011, pp. 6-8) menyatakan bahwa seorang guru yang efektif adalah salah satu faktor terpenting dalam proses pembelajaran siswa. Selain teoritis, Instruksi Pengetahuan Pengetahuan Pedagogis (PCK), seperti pengetahuan didaktis metodis, pembahasan

pertanyaan historis dan filosofis, interpretasi konsep fisika kuantum, dan aplikasi modern utama; diperlukan untuk mengajarkan fisika kuantum dengan baik di sekolah. Sebagai lembaga penghasil guru, LPTK mempersiapkan mahasiswa model pendidikan fisika sebagai calon guru yang diharapkan mempunyai pemahaman konseptual dan memiliki pengetahuan pedagogik tentang konsep materi subjek yang diajarnya, yaitu pokok bahasan pendahuluan fisika kuantum. Salah satu standar yang diharapkan bagi calon guru fisika di sekolah menengah atas adalah memahami pendahuluan fisika kuantum, hubungan ruang dan waktu, dan kecepatan khusus (*National Science Teachers Association*, 2008, pp. 76-78).

Berdasarkan alasan-alasan yang diterangkan di atas, penting bagi para guru dan siswa untuk memahami konsep kuantum yang ada di Kurikulum Fisika SMA. Penguasaan konsep diperoleh siswa dari guru yang bermutu dan guru akan menguasai materi jika menerima dengan benar pada masa pendidikannya di LPTK. Dengan demikian, penelitian pengembangan model pembelajaran pendahuluan fisika kuantum yang bermakna dan menarik perlu diterapkan untuk menjawab permasalahan-permasalahan pembelajaran di LPTK.

De Jong, Linn, dan Zacharia (2013) menunjukkan bahwa pembelajaran berbantuan Laboratorium virtual dapat mempermudah siswa dalam menyelidiki fenomena yang tidak ditemukan dalam pemeriksaan fisik, melakukan lebih banyak eksperimen daripada hanya belajar secara abstrak, dan fenomena atom dapat diamati secara langsung atau kontras penggambaran yang berbeda. Tujuan instruksional laboratorium virtual yaitu siswa memperoleh pengetahuan yang canggih, termasuk kemahiran untuk memahami pengukuran yang abstrak dan

untuk mendapatkan kemahiran berpikir kritis. Berpikir kritis banyak dikembangkan jika seseorang melakukan pengamatan langsung dan tak langsung, menyadari akan skala besaran, membuat pemodelan matematik, dan membangun konsep.

Berpikir kreatif diterapkan ketika seseorang merumuskan bahasa simbolik, inferensi logika, dan menemukan kerangka logika taat-asas dari hukum alam. Berpikir pemecahan masalah diterapkan jika seseorang sedang menyelidiki berlakunya hukum sebab-akibat pada sejumlah gejala alam yang diamatinya. Pengambilan keputusan dapat digunakan ketika membangun konsep, membuat pemodelan matematik, dan menemukan inferensi logika. Dengan demikian, desain pembelajaran harus mengutamakan penjelasan konsep mengingat dinamika pemahaman siswa yang masih kurang, dan pentingnya memperbaiki ujian untuk mengukur pemahaman konseptual yang lebih baik (Didi , Eryılmaz, & Erkoçl, 2010).

Pembelajaran dari komponen sederhana ke komponen yang lebih kompleks berangsur-angsur dilakukan. Hal ini memiliki implikasi yang penting pada cara kita dalam mengatur pembelajaran kemahiran generik. Penjelasan tentang verifikasi partikel sebagai gelombang yang dibahas dalam peristiwa radiasi gelombang pada benda hitam, efek fotolistrik, dan efek Compton menunjukkan analisis postulat Planck dan hukum Einstein. Gelombang de Broglie yang membahas sifat partikel dari gelombang dapat dibuktikan pada percobaan interferensi celah ganda yang secara eksplisit menunjukkan ketidakpastian Heisenberg. Sebab sifat dualisme ini terjadi ditunjukkan dalam pembahasan solusi persamaan Schrodinger. Hierarkhi susunan materi ini tercermin dalam pembelajaran P3FK.

Singh (2012) melakukan pembelajaran fisika kuantum yaitu teori kuantum Bohr dalam laboratorium virtual dengan menggunakan sistem *software Microsoft Visual Studio NET version 2010* untuk menunjukkan teori kuantum Bohr atom, jari-jari nucleus, dan hubungannya dengan nilai *energy stationer*. Model kuantum Bohr berhasil menjelaskan gerak elektron secara diskrit. Secara tepat mendefinisikan orbit melingkar sekeliling inti, yang menjelaskan kemungkinan spektrum emisi yang diamati dari atom H. Teori kuantum yang menjelaskan mekanika kuantum.

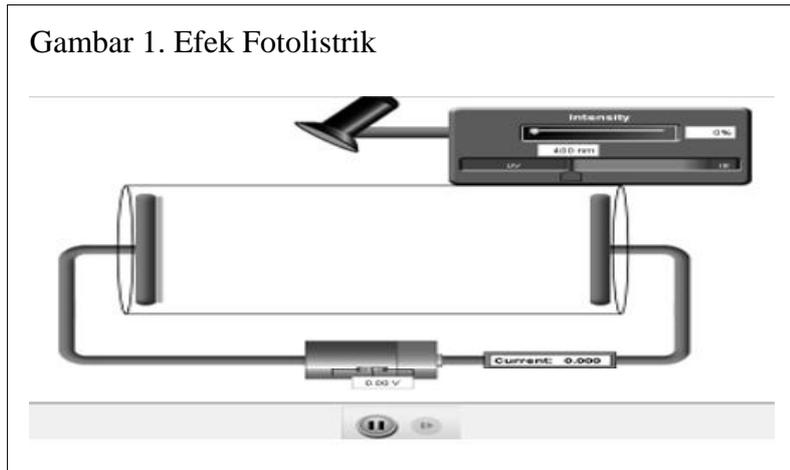
Kecenderungan dosen mendominasi perkuliahan juga dikurangi melalui model pembelajaran pendahuluan fisika kuantum. Namun, peran dosen sebagai fasilitator tetap ada. Hal itu terlihat dari keterlaksanaan RPP. Dosen mengarahkan mahasiswa melakukan pembelajaran dan memberikan penugasan. Selanjutnya mahasiswa yang bekerja secara kelompok melalui tugas kelompok.

Pada draf RPP model pembelajaran pendahuluan fisika kuantum, kemahiran generik tersusun dalam komponen utama prosedur dan prinsip pembelajaran sehingga mahasiswa dapat mempelajari komponen-komponen tersebut. Kemahiran generik berbeda dari kemahiran tergantung domain (*a domain-dependent skill*). Kemahiran generik dapat diterapkan pada berbagai domain isi yang berbeda dan membutuhkan waktu yang relatif lama untuk mempelajarinya. Perbedaan-perbedaan itu memiliki pengaruh yang penting mengenai cara kemahiran generik dapat dipelajari. Fakta bahwa kemahiran generik diterapkan dalam domain-domain isi yang berbeda menunjukkan bahwa kemahiran tersebut hanya dapat dipelajari melalui aplikasi pengetahuan bidang studi.

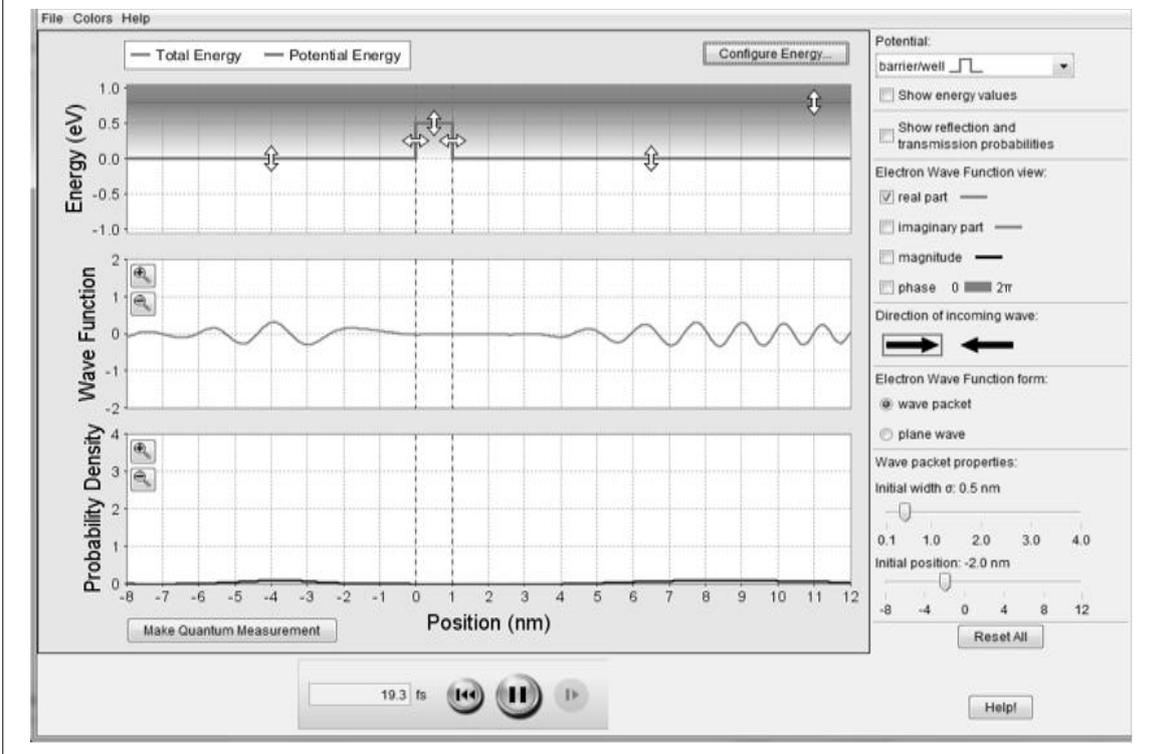
Hasil penelitian menunjukkan perkuliahan dengan laboratorium virtual dalam pembelajaran pendahuluan fisika

kuantum memberikan tampilan belajar yang lebih baik daripada perkuliahan konvensional. Hasil penerapan model pembelajaran pendahuluan fisika kuantum tercermin dalam bentuk penguasaan konsep mahasiswa. Gambar 1, 2, dan 3 menyajikan tampilan model *virtual laboratory* yang telah digunakan dalam kelas eksperimen.

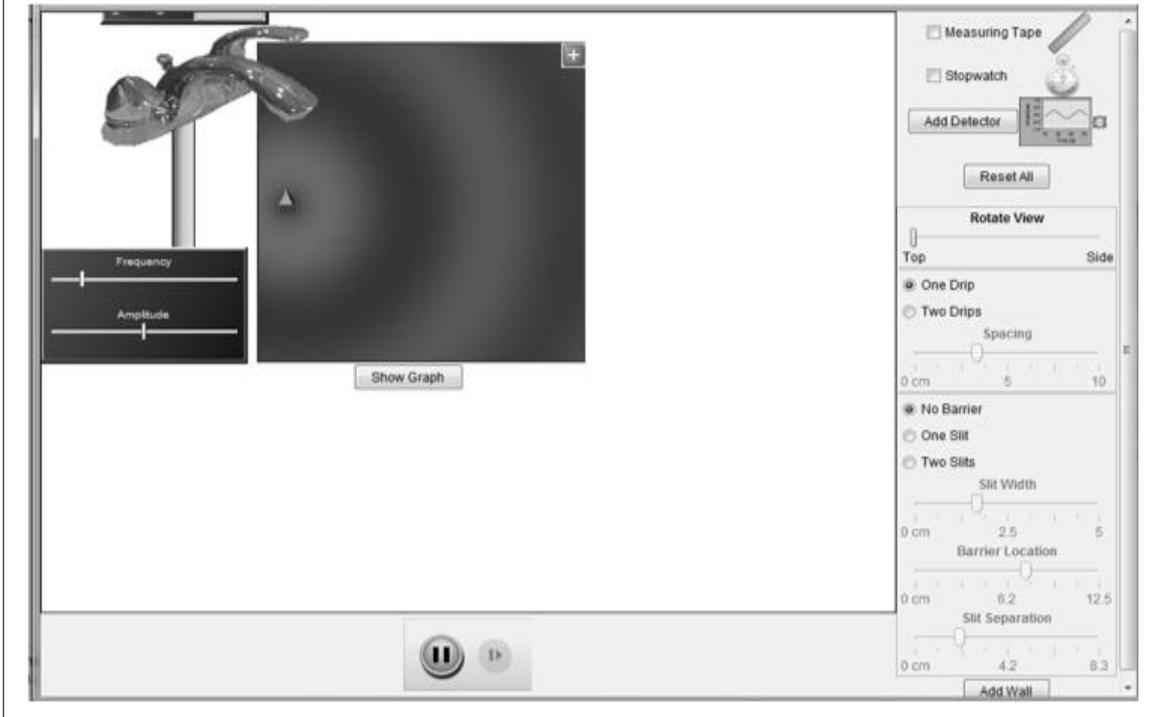
Peranan penerapan model tersebut dalam meningkatkan kemahiran generik mahasiswa dapat dilihat pada Gambar 4. Grafik pada Gambar 4 menunjukkan pada *pretest*, nilai rata-rata kemahiran generik sains (KGS) antara kelas eksperimen dan kontrol tidak menunjukkan selisih yang mencolok. Pada *posttest* terlihat



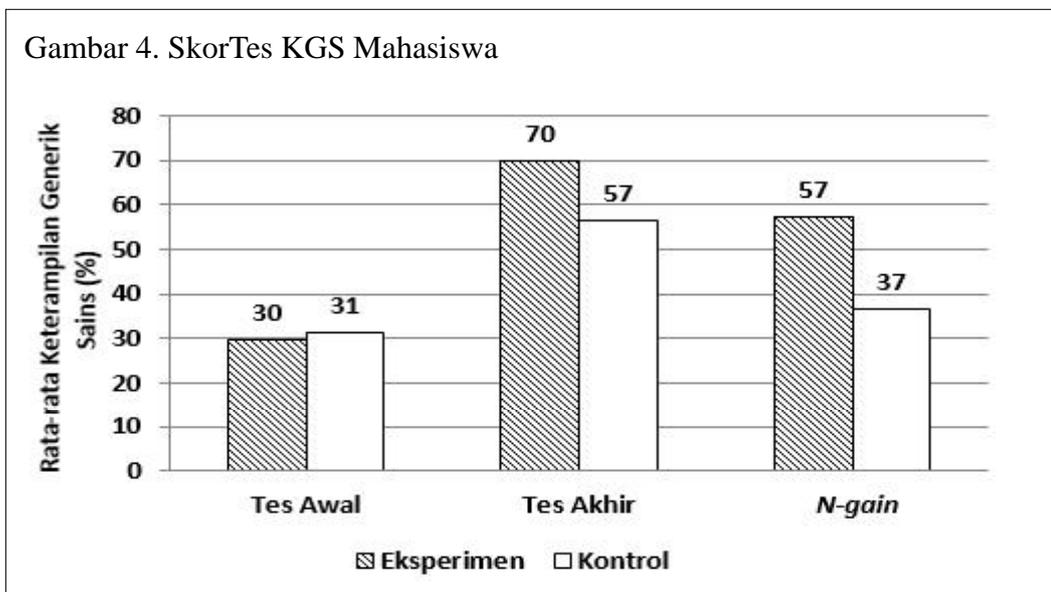
Gambar 2. *Quantum Tunneling* dan *Wave Packet*



Gambar 3. Interferensi Berkas Elektron melalui Celah Ganda



Gambar 4. Skor Tes KGS Mahasiswa



ada perbedaan kemahiran KGS kedua kelompok mahasiswa, nilai rata-rata KGS pada kelompok eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol yang diajarkan dengan metode konvensional.

Pada taraf kesalahan 5%, dengan uji dua pihak, ternyata diperoleh bahwa tidak ada perbedaan kemahiran awal (KGS) mahasiswa kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Analisis postes

menunjukkan bahwa KGS mahasiswa yang mengikuti model pembelajaran pendahuluan fisika kuantum memiliki kemahiran yang berbeda secara signifikan dengan kelompok yang mengikuti pembelajaran konvensional dengan peningkatan *N-gain* yang juga berbeda secara signifikan.

Efektivitas pembelajaran dalam meningkatkan KGS mahasiswa melalui pembelajaran yang dikembangkan dilihat dari capaian *N-gain* pada KGS. Skor *N-gain* dikelompokkan ke dalam tiga kategori yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Untuk mengetahui secara terperinci pengaruh penerapan model pembelajaran pendahuluan fisika kuantum terhadap KGS mahasiswa dapat dilihat berdasarkan skor per indikator KGS (IKG). Skor KGS menurut indikator KGS disajikan pada Tabel 2. Efektivitas penggunaan model pembelajaran pendahuluan fisika kuantum ini pada tiap indikator kemahiran generik sains mahasiswa dapat dilihat melalui grafik yang tertera pada Gambar 5. Pengamatan tidak langsung memiliki skor paling tinggi, diikuti kesadaran skala, kesadaran taat azas, pemodelan matematika, hubungan sebab-akibat, inferensi logika, bahasa simbolik, dan yang terakhir membangun konsep.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model pembelajaran pendahuluan fisika kuantum berbantuan laboratorium virtual lebih efektif meningkatkan kemahiran generik sains mahasiswa calon guru fisika dibandingkan dengan perkuliahan konvensional, menunjukkan efektifnya pembelajaran berbasis multimedia. Penelitian Tiurma dan Retnawati (2014) menyimpulkan bahwa terdapat keefektifan pembelajaran dengan menggunakan multimedia.

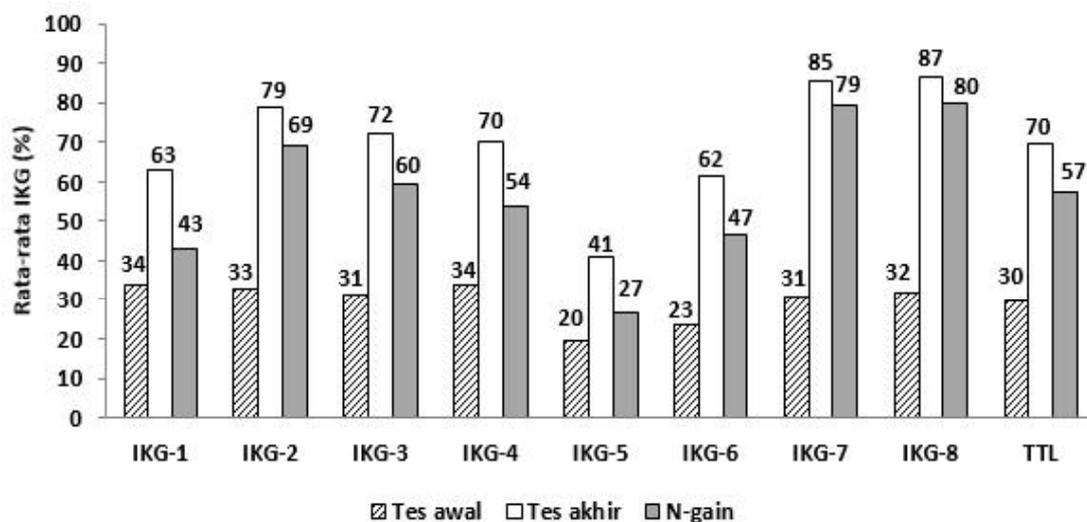
Peningkatan kemahiran generik atau penalaran dapat juga ditingkatkan melalui pendekatan *locus of control* (Saragih, 2011). Oidov, Tortogtokh, dan Purevdagva (2012) menunjukkan bahwa dengan menggunakan investigasi laboratorium virtual, siswa mampu melakukan pengukuran numerik dan memperoleh estimasi kuantitatif fisik melalui diskusi yang intensif dan aktif di sekitar fakta dan data, siswa dapat menginterpretasi hukum-hukum fisik.

Gunawan dan Liliarsi (2012) menyatakan bahwa model laboratorium virtual pendahuluan fisika kuantum yang dikembangkan efektif untuk meningkatkan kemahiran generik sains mahasiswa. McKagan *et al.* (2008) menunjukkan simulasi kuantum *Physics Education Technology*

Tabel 2
Skor Kemahiran Generik Sains

No	Indikator KGS	Tes awal (%)	Tes akhir (%)	N-gain (%)
1	Inferensi logika	33,8	63,0	43,1
2	Kesadaran taat azas	32,8	78,9	69,2
3	Pemodelan matematik	31,3	72,4	59,6
4	Hubungan sebab akibat	33,6	70,1	53,7
5	Membangun konsep	19,6	41,0	26,5
6	Bahasa simbolik	23,3	61,7	46,7
7	Kesadaran skala	30,7	85,3	79,2
8	Pengamatan tidak langsung	31,7	86,7	80,0
	Total	29,6	69,9	57,4

Gambar 5. Skor *N-gain* menurut IKGS Mahasiswa



Keterangan:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| IKG-1 = Inferensi logika | IKG-5 = Membangun konsep |
| IKG-2 = Kesadaran taat azas | IKG-6 = Bahasa simbolik |
| IKG-3 = Pemodelan matematika | IKG-7 = Kesadaran skala |
| IKG-4 = Hubungan sebab akibat | IKG-8 = Pengamatan tidak langsung |

(*PhET*) dengan demonstrasi virtual secara efektif dapat meningkatkan kemahiran berpikir. Simulasi kuantum *PhET* secara efektif dapat menolong siswa untuk belajar dan memberikan informasi baru tentang cara mahasiswa berpikir pada konsep fisika kuantum (McKagan *et al.*, 2008). Oidov *et al.* (2012, p. 320) menyatakan bahwa penggunaan laboratorium untuk menyelidiki tentang fisika membuat mahasiswa dapat membuat pengukuran numerik dan memperoleh estimasi komputer tentang kuantitas fisik. Mahasiswa dapat menginterpretasikan dan mendeduksi formulasi fisik melalui diskusi yang intensif, aktif, dan mengargumentasikan fakta serta data. Oleh karena itu, mahasiswa dapat menemukan sendiri hukum-hukum fisika.

Penggunaan simulasi membuat konsep kuantum lebih dipahami mahasiswa.

Penelitian Suyoso dan Nurohman (2014) menyatakan bahwa modul elektronik berbasis *web* dengan format *mobile version* dapat meningkatkan prestasi belajar siswa. Penerapan psikologi kognitif dalam penelitian pendidikan sains, terbukti bahwa banyak mahasiswa menggunakan model mental imajiner untuk memahami konsep fisika (Tsovaltzi *et al.*, 2010). Artinya, mereka perlu “memvisualisasikan” yang sedang terjadi agar bisa mengerti. Kebutuhan untuk visualisasi merupakan cara untuk bekerja dalam suatu subjek, seperti dalam kuantum inti (Gavroglu & Simões, 2012, p. 89).

Secara keseluruhan dalam penelitian ini diamati kegiatan *hands-on*, program visualisasi komputer, dan pedagogik konstruk yang menjelaskan percobaannya. Misalnya, pendekatan empirik lebih efektif

menolong mahasiswa membuat kesimpulan tentang sifat diskrit tingkat energi atom.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data menunjukkan bahwa laboratorium virtual dalam pembelajaran pendahuluan fisika kuantum lebih efektif meningkatkan penguasaan konsep dan kemahiran generik sains mahasiswa calon guru kependidikan fisika dibandingkan dengan perkuliahan konvensional. Pengaruh penerapan model pembelajaran pendahuluan fisika kuantum terhadap KGS mahasiswa dapat dilihat berdasarkan skor per indikator KGS (IKG) mencapai nilai yang signifikan yaitu dari hasil rata-rata indikator tes awal 29,6% menjadi 69,9% (rata-rata tes akhir). Hasil penelitian menunjukkan perkuliahan dengan pembelajaran pendekatan pendahuluan fisika kuantum dengan siklus belajar memberikan tampilan belajar yang lebih baik daripada perkuliahan konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- Akarsu, B., Co kun, H., & Kariper, I. A. (2011). An investigation on college students' conceptual understanding of quantum physics topics. *Mustafa Kemal University Journal of Social Sciences Institute*, 8(15), 349-362.
- Aina, J. K. (2013). Effective teaching and learning in science education through information and communication technology (ICT). *IOSR Journal of Research & Method in Education (IOSR-JRME)*, 2(5), 43-47. Diunduh dari <http://www.iosrjournals.org/iosr-jrme/papers/>.
- Brotosiswoyo, B. S. (2001). *Hakekat pembelajaran MIPA di perguruan tinggi: Fisika*. Jakarta: PAU-PPAI. Dirjen Dikti Depdiknas.
- De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305-308.
- deSouza, R. T., & Iyengar, S. S. (2013). Using quantum mechanics to facilitate the introduction of a broad range of chemical concepts to first-year undergraduate students. *Journal of Chemical Education*, 90(6), 717-725.
- Didi, N., Eryılmaz, A., & Erkoç, . (2010). Pre-service physics teachers comprehension of quantum mechanical concepts. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(4), 227-235. Diunduh dari <http://www.ejmste.com/>.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education* (8th ed.). New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Gavroglu, K., & Simões, A. (2012). *Neither physics nor chemistry: A history of quantum chemistry*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology Press.
- Gunawan, & Liliyasi. (2012). Model virtual laboratory pendahuluan fisika kuantum untuk meningkatkan disposisi berpikir kritis calon guru. *Cakrawala Pendidikan*, 31(2), 185-199.
- McKagan, S. B., Perkins, K. K., & Wieman, C. E. (2010). Design and validation of the quantum mechanics conceptual survey. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6(2), 020121. Diunduh dari <https://journals.aps.org/prper/pdf/10.1103/PhysRevSTPER.6.020121>.
- McKagan, S. B., Perkins, K. K., Dubson, M., Malley, C., Reid, S., LeMaster, R., et al. (2008). Developing and researching PhET simulations for teaching quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 76(4), 406-417.

- National Science Teachers Association (2003). *Standards for science teacher preparation*. Diunduh dari <https://www.nsta.org>.
- Oidov, L., Tortogtokh, U., & Purevdagva, E. (2012). Virtual laboratory for physics teaching. Dalam *International Conference on Management and Education Innovatio, IPEDR*, 37, 319-323.
- Özcan, Ö. (2016). Investigating students' conceptual difficulties on commutation relations and expectation value problems in quantum mechanics. Dalam *SHS Web of Conferences* 26, 01123. Diunduh dari https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2016/04/shsconf_erp2016_01123.pdf.
- Ozdemir, E., & Erol, M. (2010). Teaching uncertainty principle by hybrid approach: single slit diffraction experiment. *Lat. American Journal of Physics. Educ.*, 4(3), 3-14.
- Pospiech, G., & Schöne, M. (2011). Quantum physics in teacher education. Dalam B. G. Sidharth, M. Michelini, L. Santi (Eds.), *Proceeding 12th International Symposium on FFP12* (1-8). Udine, Italy. Diunduh dari <http://www.fisica.uniud.it/~ffp12/ftp/fullpapers/G%20Pospiech.pdf>.
- Saragih, S. (2011). Pengaruh pendekatan pembelajaran dan locus of control terhadap kemahiran penalaran matematika siswa. *Jurnal Kependidikan*, 41(2), 108-119.
- Singh, G. (2012). Computer simulations of quantum theory of hydrogen atom for natural science education students in a virtual lab. *Journal Educational Technology Systems*, 40(3), 273-286.
- Suyoso, & Nurohman, S. (2014). Pengembangan modul elektronik berbasis web sebagai media pembelajaran fisika. *Jurnal Kependidikan*, 44(1), 73-82.
- Tambade, P. S., & Wagh, B. G. (2011). Assessing the affectiveness of computer assisted in physics at undergraduate level. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*, 3(2), 127-136. Diunduh dari <http://www.eurasianjournal.com/index.php/ejpce>.
- Tiurma, L., & Retnawati, H. (2014). Keefektifan pembelajaran multimedia materi dimensi tiga ditinjau dari prestasi dan minat belajar matematika di SMA. *Jurnal Kependidikan*, 44(2), 175-187.
- Tsovaltzi, D., Rummel, N., McLaren, B., Pinkwart, N., Scheuer O., Harrer, A. & Braun, I. (1-2010). Extending a virtual chemistry laboratory with a collaboration script to promote conceptual learning. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 2(1-2), 91-110.
- Wuttiptom, S., Chitaree, R., Soankwan, C., & Johnston, I. D. (2008). Developing a conceptual survey in fundamental quantum physics. *Thai Journal of Physics, Series 3*, 172.